

## Modelación de sistemas socioecológicos usando dinámica de sistemas

Reina-Mora, I.H., Hernández-Castillo, B. E., Díaz-Barrios, M. C., Rodríguez- Chaves, J., Obregón-Neira, N.

Programa de Modelamiento Ecohidrológico (PMEH), componente 2 – Gestión de la Salud de los Ecosistemas; Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive; Fundación Natura, carrera 21 # 39 – 43, Bogotá D. C., Colombia.

Proceso iterativo por el cual se identifica la estructura dinámica de sistemas complejos. Representado en diagramas causales, cíclicos, de interdependencia entre variables. A través de la elaboración de diagramas de niveles y flujos– términos cuantitativos de acumulaciones y tasas de cambio– se formulan ecuaciones no lineales que dan cuenta de las variables de estado del sistema analizado.

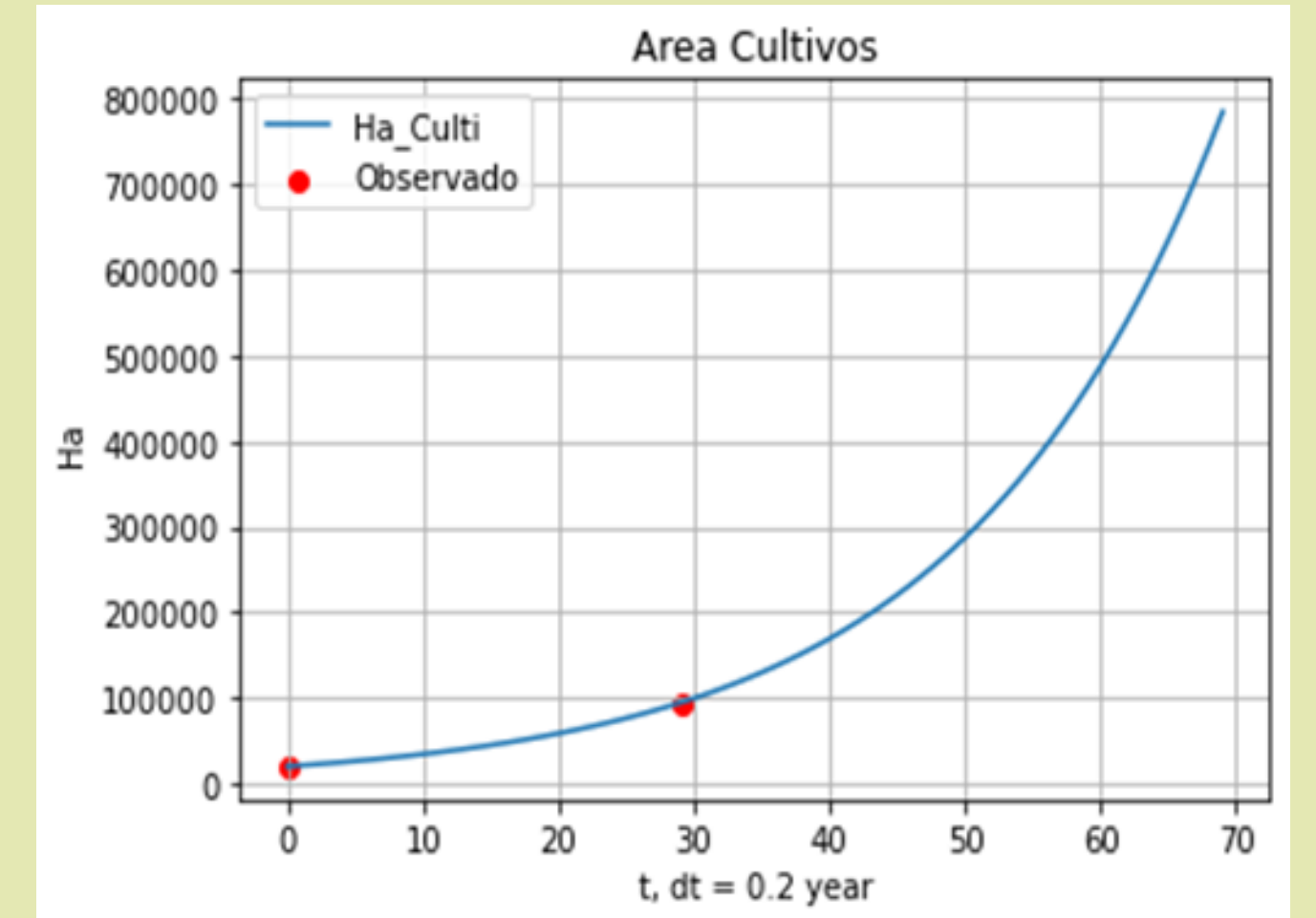
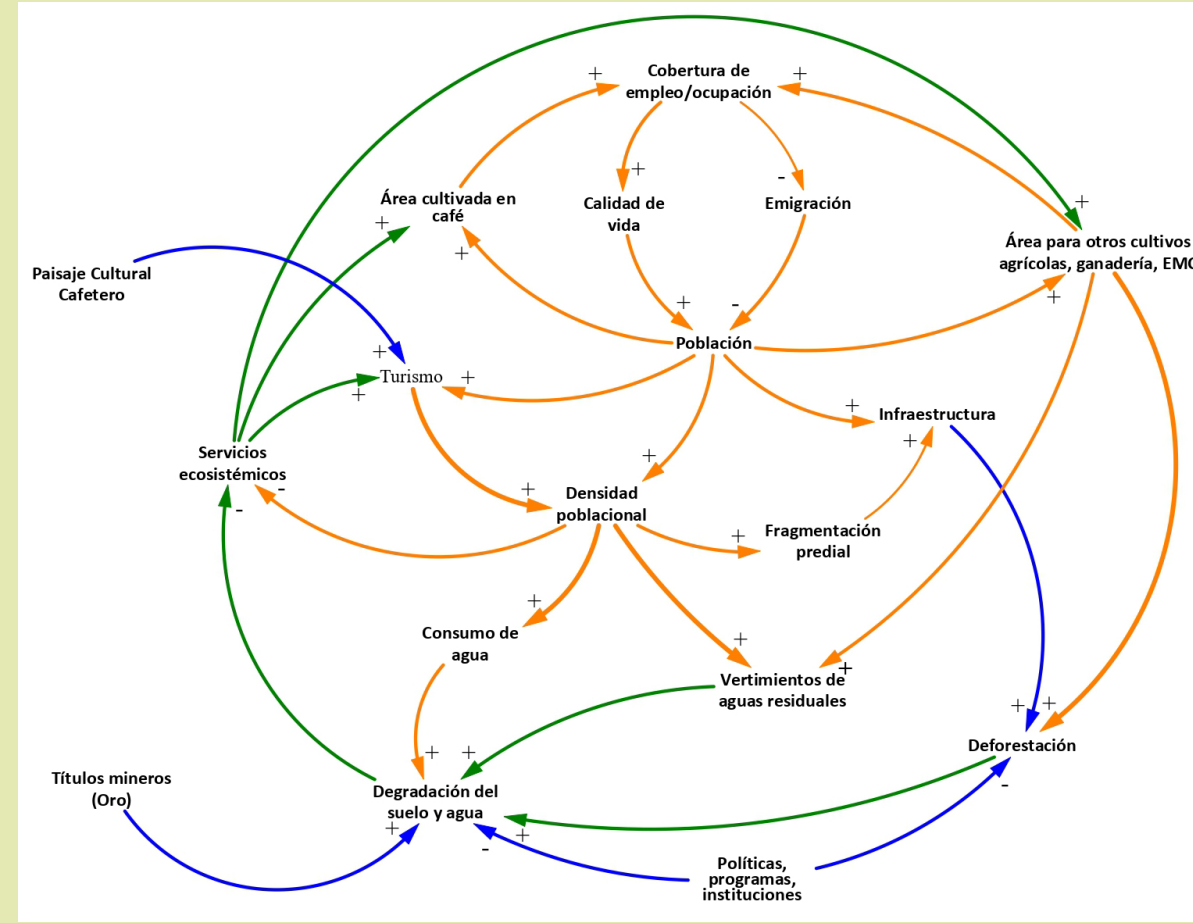
Realizada con información secundaria, proporciona datos sobre el área de estudio e inicia la identificación del aspecto de la realidad a modelar.

Determina las relaciones entre las diferentes variables y subsistemas, principales causas y efectos del comportamiento de las variables de almacenamiento y los ciclos de retroalimentación que explican el fenómeno analizado. Generan discusión y comprensión a través del análisis de cursos de acción o escenarios, construyendo un conjunto de consecuencias futuras.

Series de tiempo de los valores obtenidos por el modelo, producto de los parámetros calibrados. También se presentan valores de las diferentes variables observadas en el tiempo.



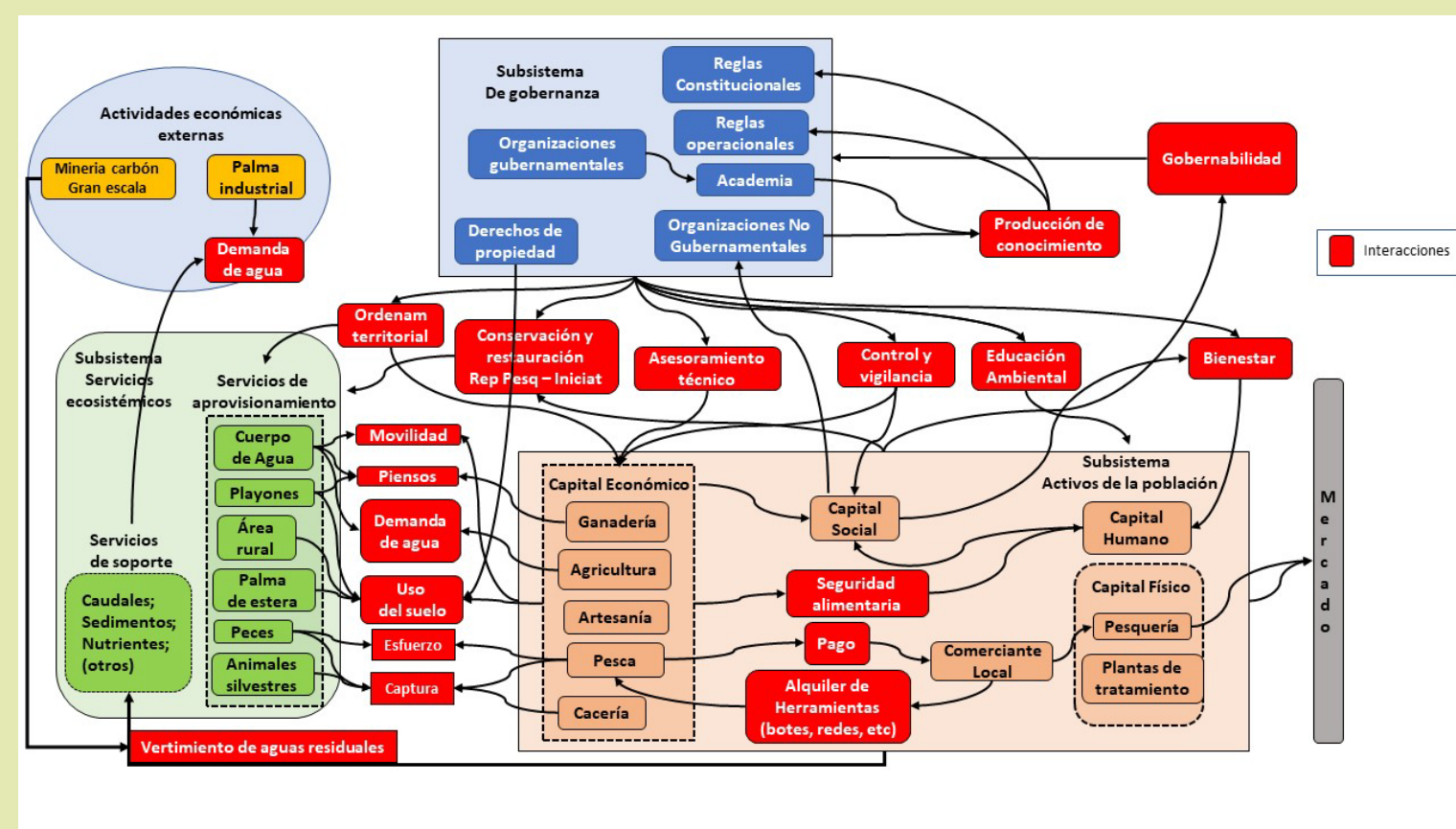
### Caracterización social, económica y cultural



### Conceptualización Enfoque Socioecológico

### Diagramas Causales

### Diseño de interfaz



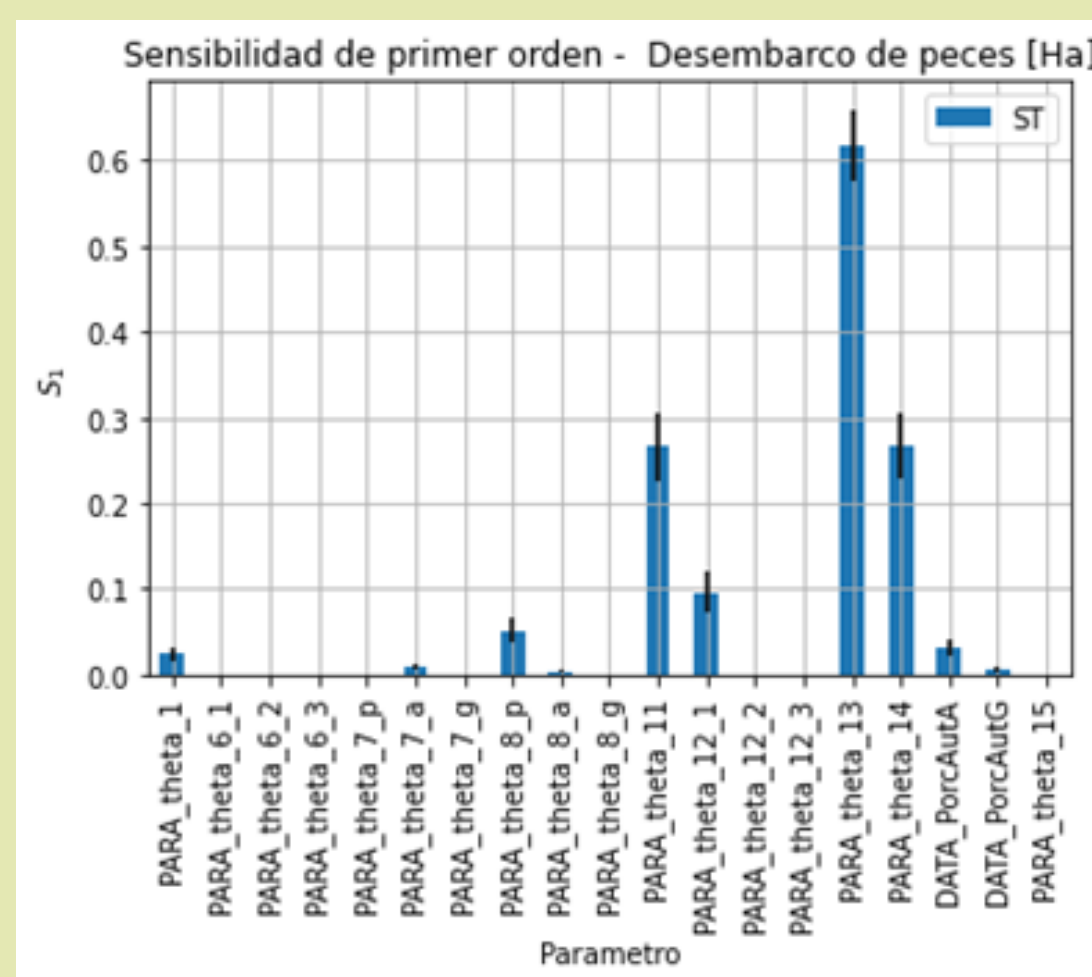
### Programación código en Python

Desarrollo de una herramienta como objeto en entorno Python, permite la automatización del desarrollo de las ecuaciones, la manipulación de los parámetros para la simulación de escenarios y la generación de gráficas.

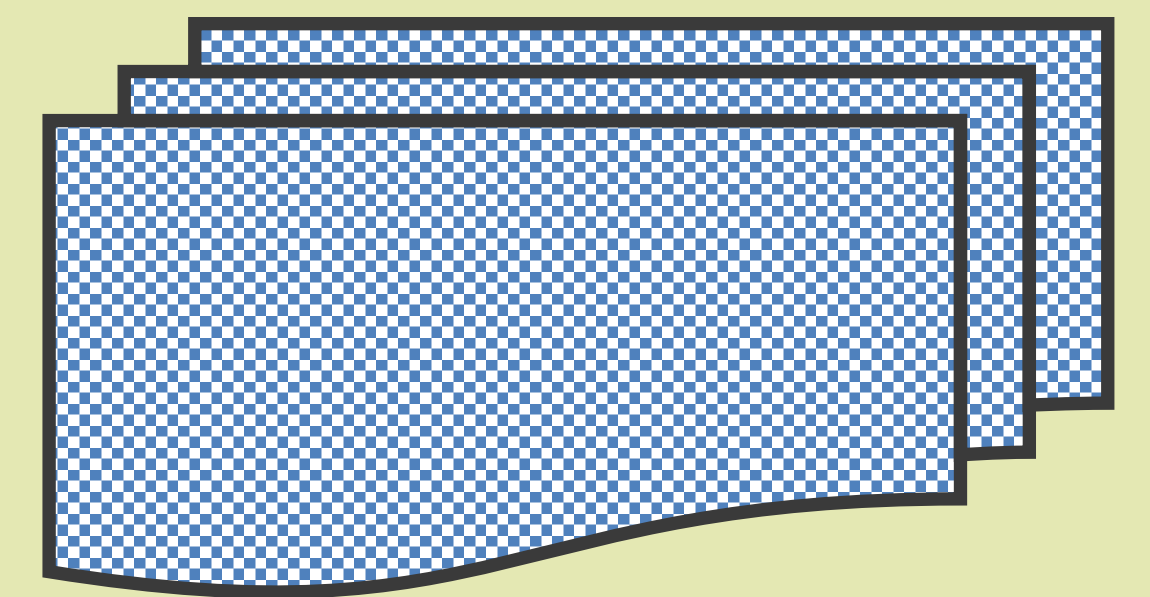
### Resultados del modelo

A partir de la aplicación de marcos de análisis de sistemas socioecológicos (SSE) se conceptualiza el SSE de cada área.

### Calibración del modelo



### Modelación de escenarios



### Formulación de ecuaciones

$$\frac{dIngG}{dt} = \theta_2 * (1 - \%AutG) * \theta_3 * G$$

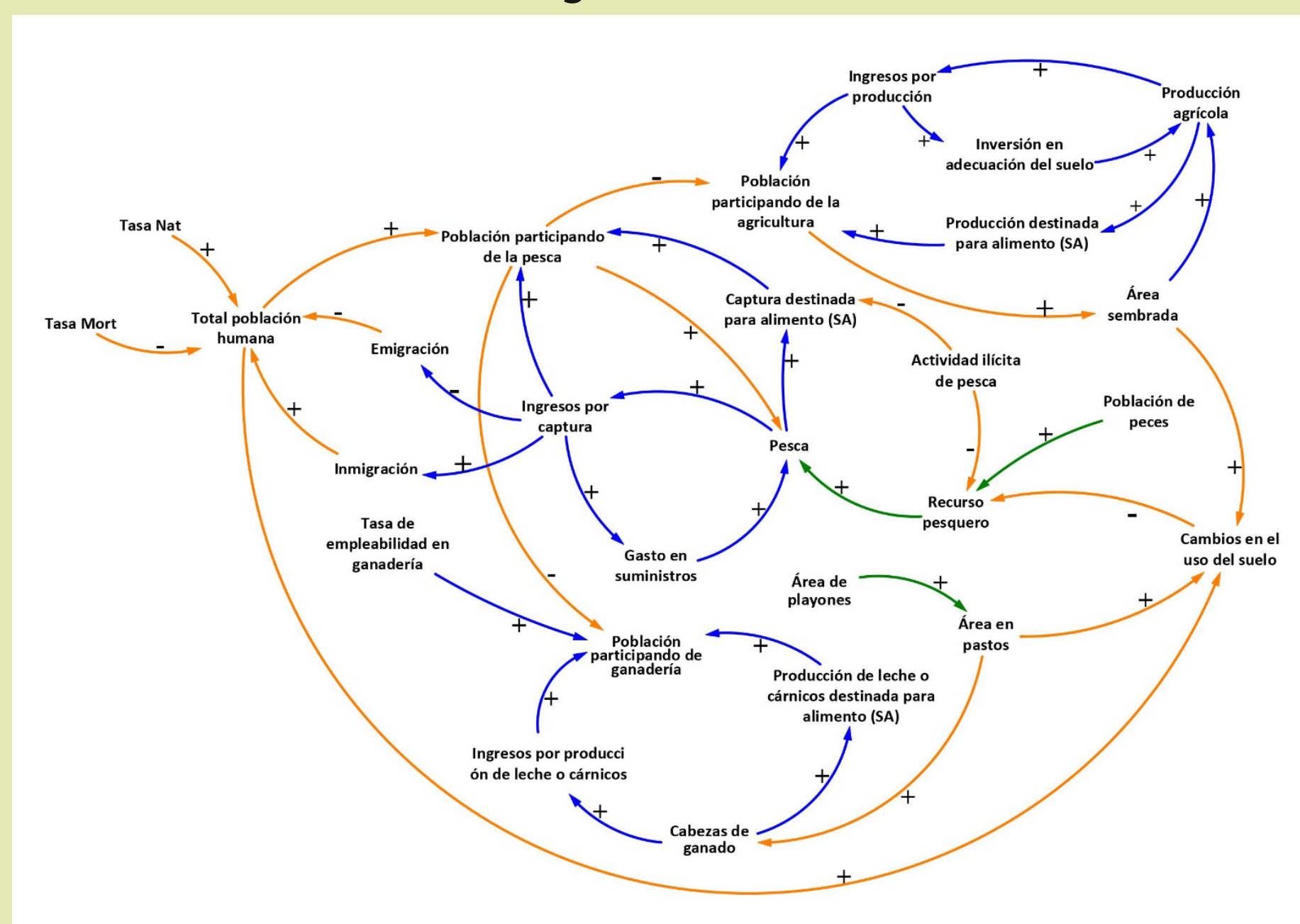
Expresiones matemáticas que dan cuenta de la influencia de variables tipo flujo sobre las variables tipo almacenamiento, representando la variación con respecto al tiempo.

Identificación de parámetros y registros históricos de estos, para mejorar la precisión de los valores de los parámetros encontrados. El orden de calibración de los parámetros se seleccionó dependiendo del número de variables dependientes observadas por medio del análisis de sensibilidad para cada parámetro.

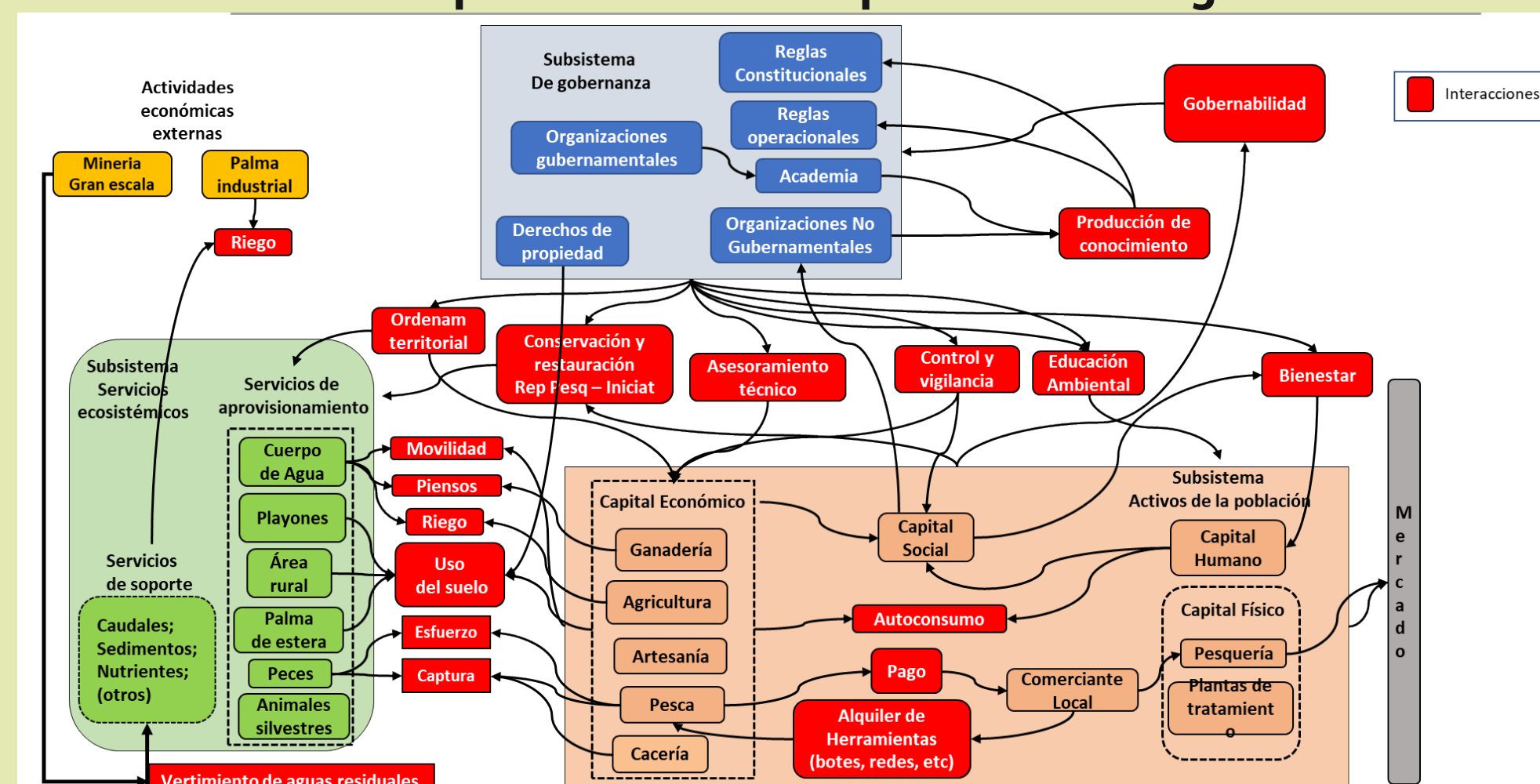
Resultados de la simulación de dos tipos de escenarios, denominados extractivista y sostenible.

## Ciénaga de Zapatosa

### Diagrama Causal



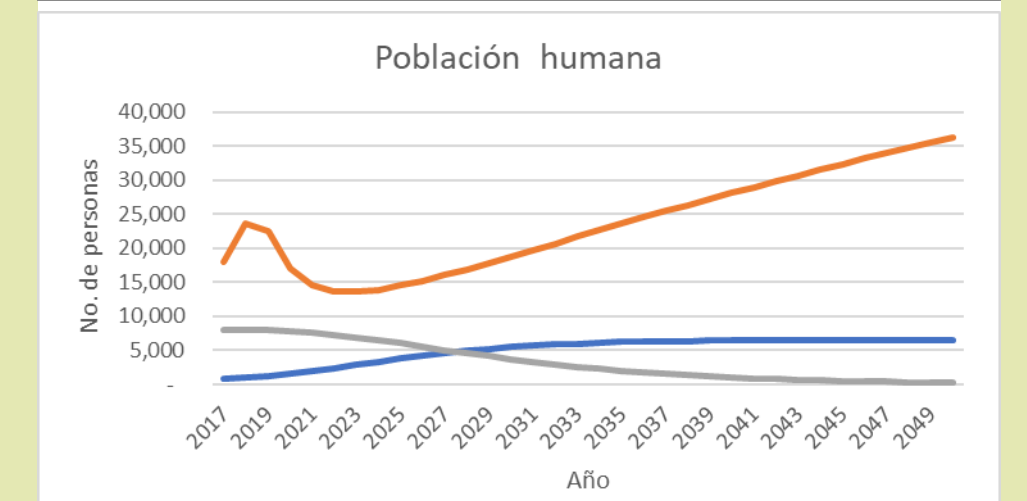
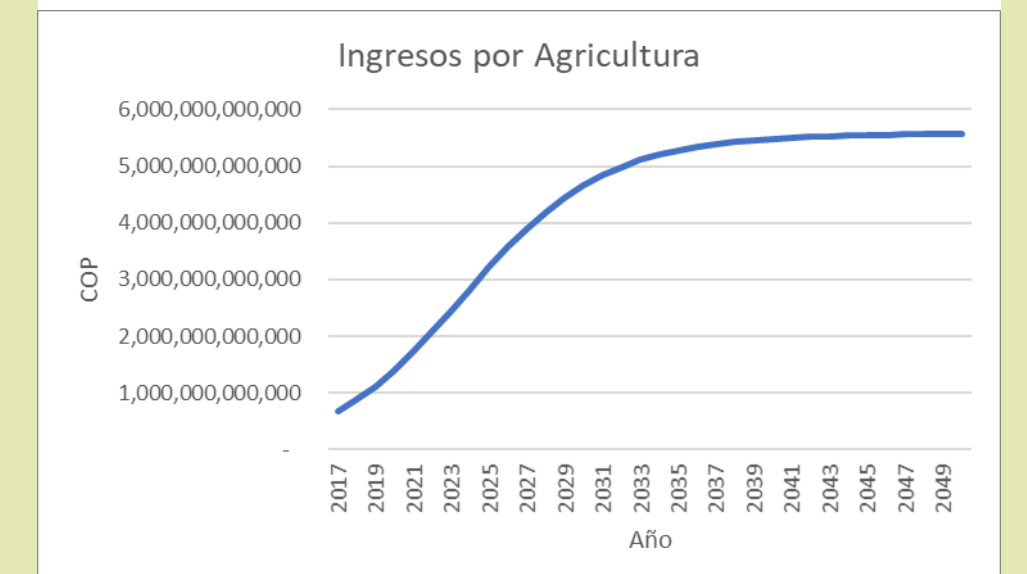
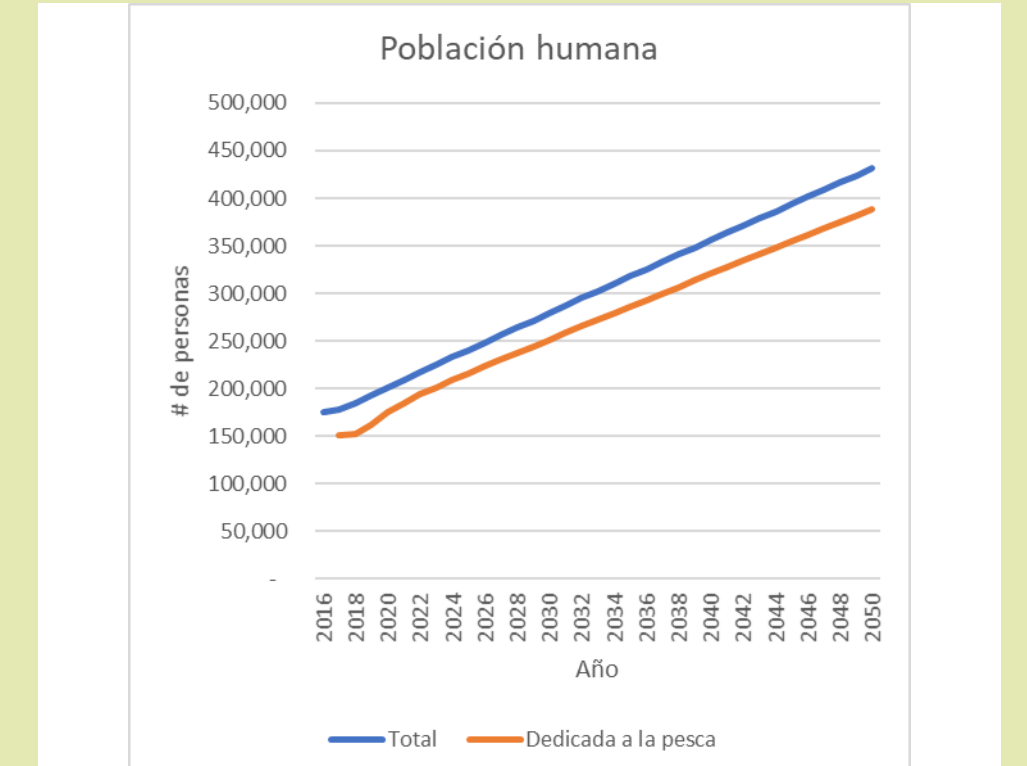
### Conceptualización Enfoque Socioecológico



### Diagrama de niveles y flujos - Ecuaciones del modelo

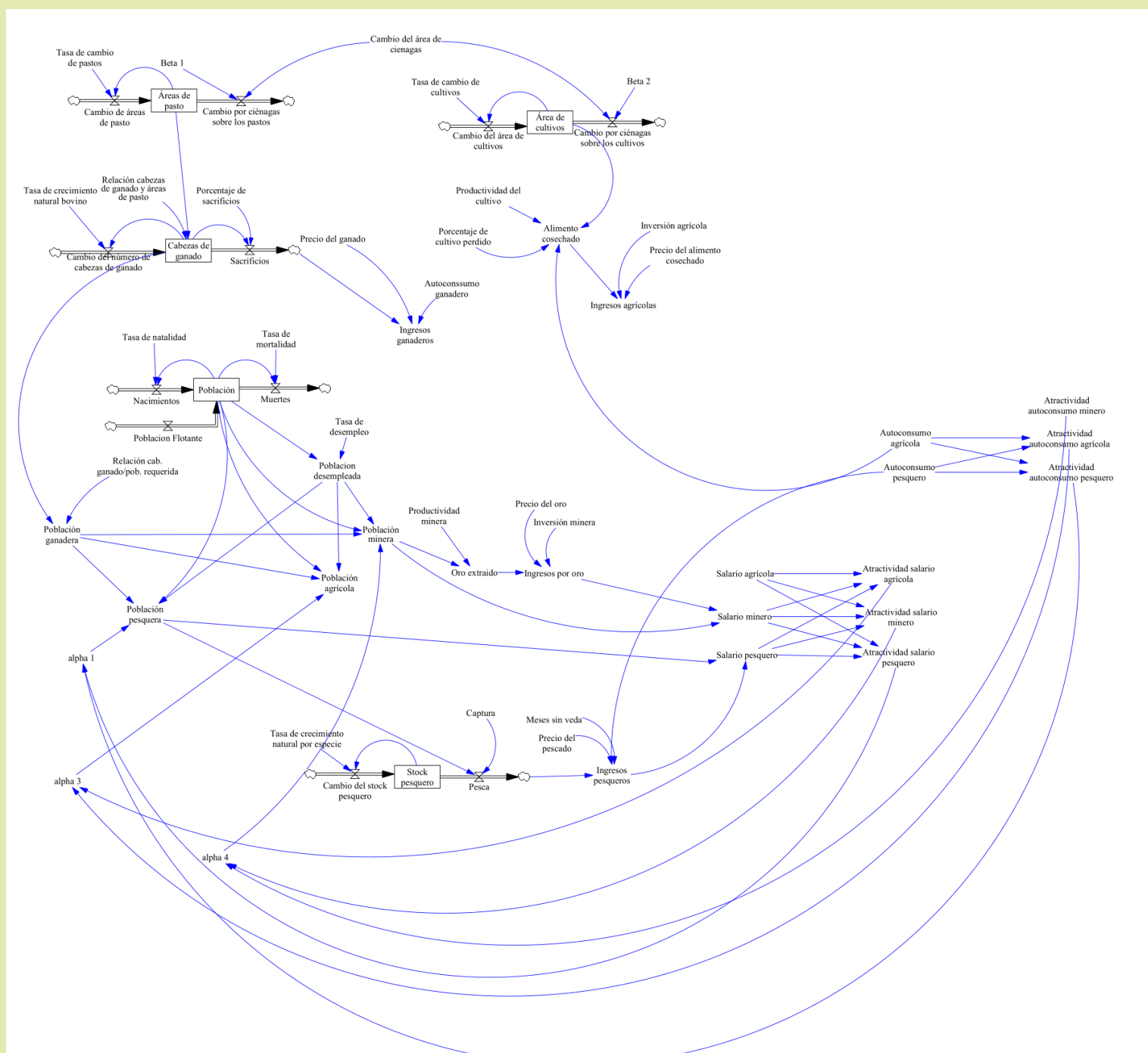
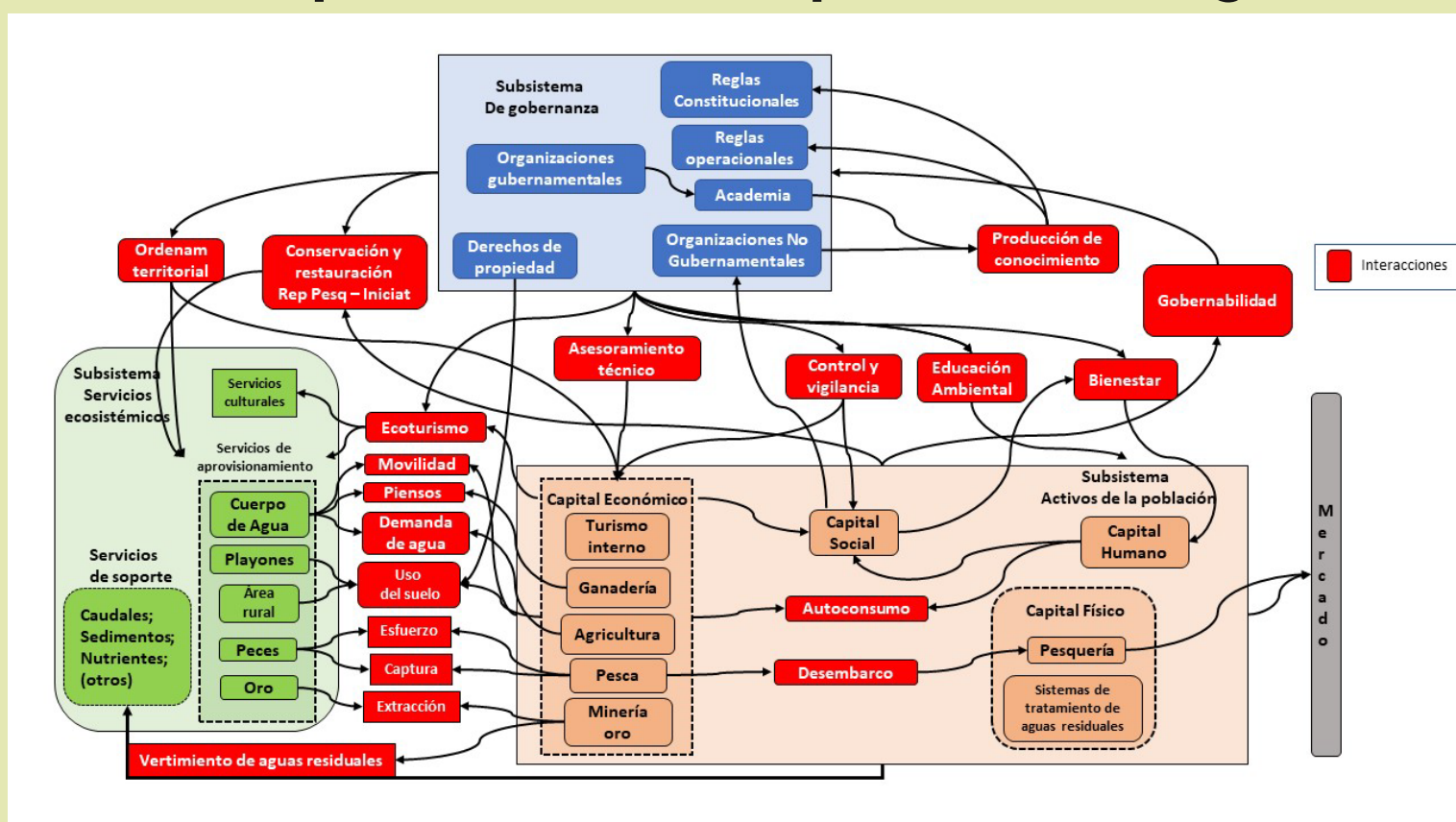
<b>Población</b>	$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{P}{1000}\right) * \theta_{19} * (Nat - Mort) + \frac{dPf}{dt}$
<b>Ingresos</b>	$\frac{dIngG}{dt} = \theta_2 * (1 - \%AutG) * \theta_3 * G$
<b>Población que desempeña cada actividad</b>	$\frac{dPx}{dt} = dP * \theta_{7x} * \frac{\frac{dIngX}{dt}}{\max\left(\frac{dIngG}{dt}, \frac{dIngA}{dt}, \frac{dIngP}{dt}\right)} + dP * \theta_{8x} * \frac{\%AutX}{\max(\%AutG, \%AutA, \%AutP)}$
<b>Actividades económicas</b>	$\frac{dG}{dt} = \theta_{16} * \frac{dHaPas}{dt} - \theta_3 * G$

### Resultado del modelo

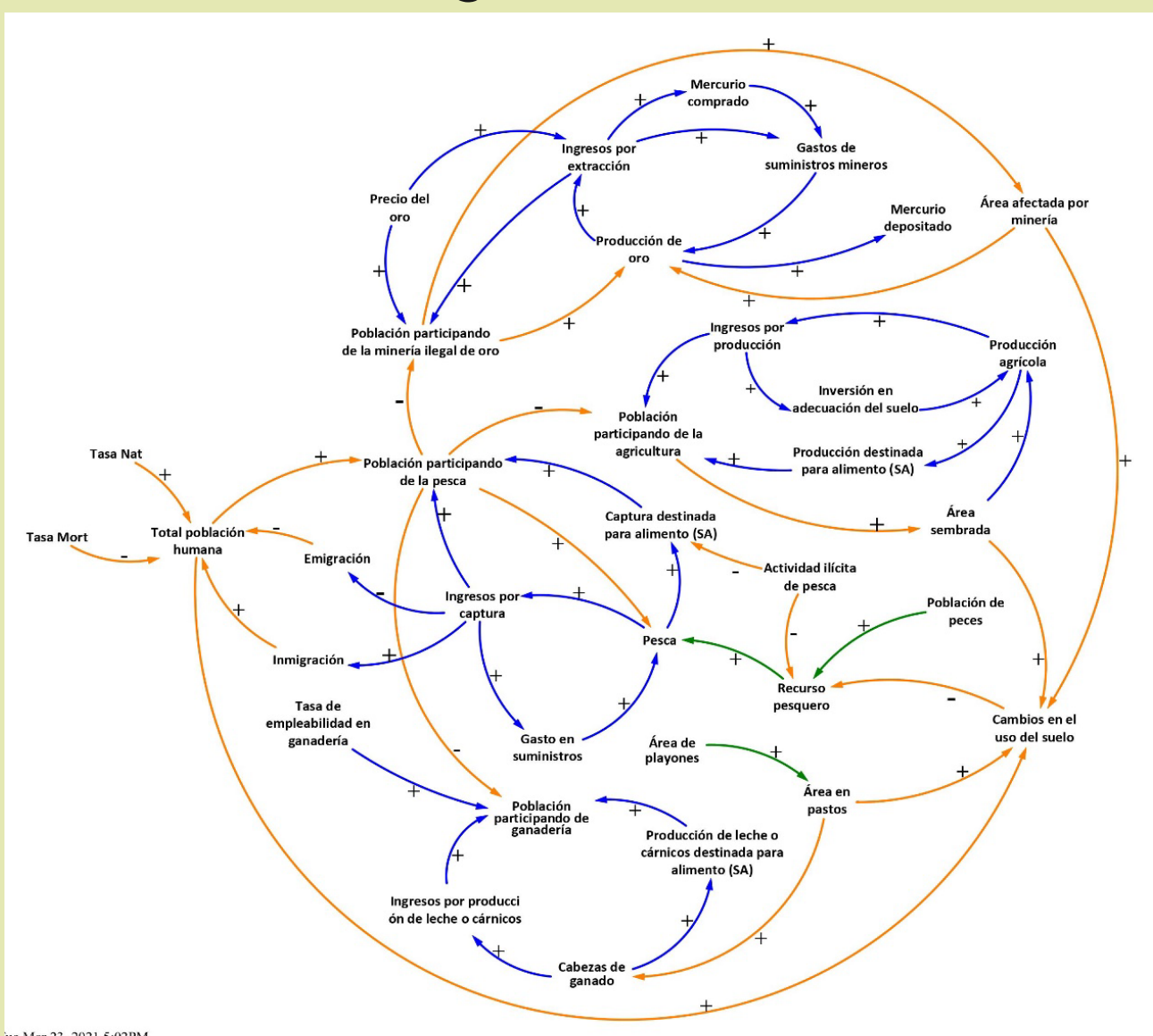


# Ciénaga de Ayapel

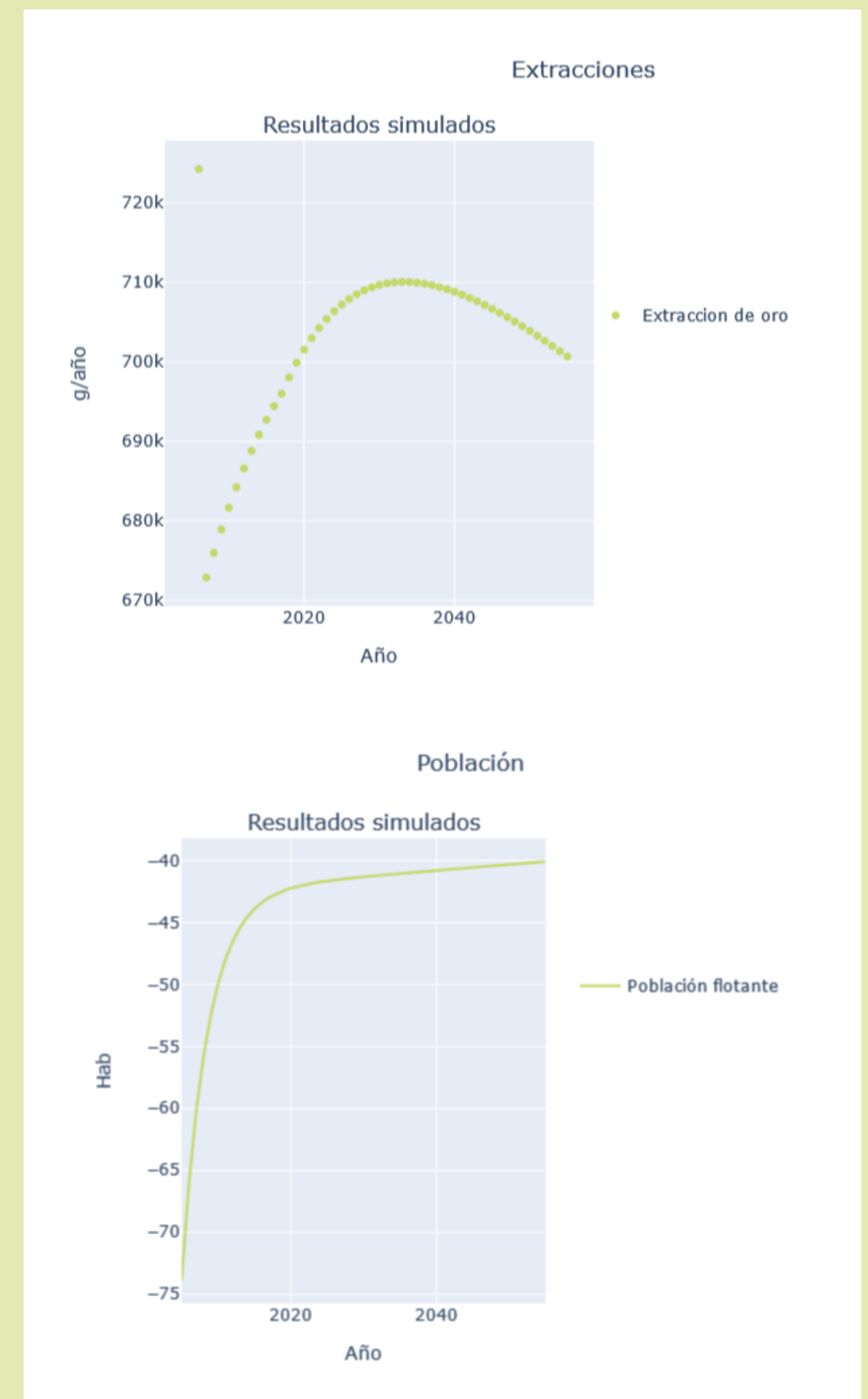
## Conceptualización Enfoque Socioecológico



## Diagrama Causal



## Resultado del modelo

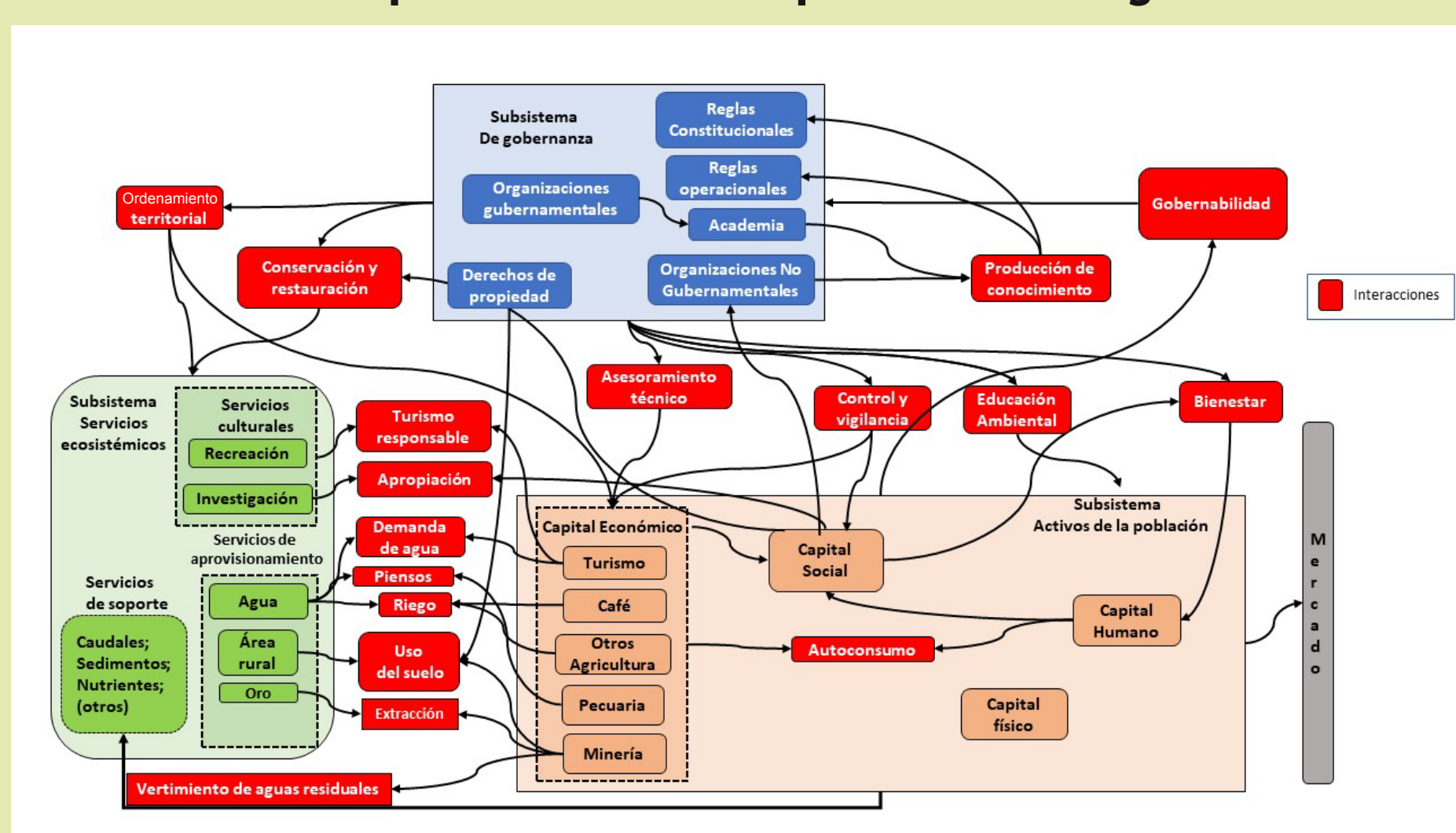


## Diagrama de niveles y flujos - Ecuaciones del modelo

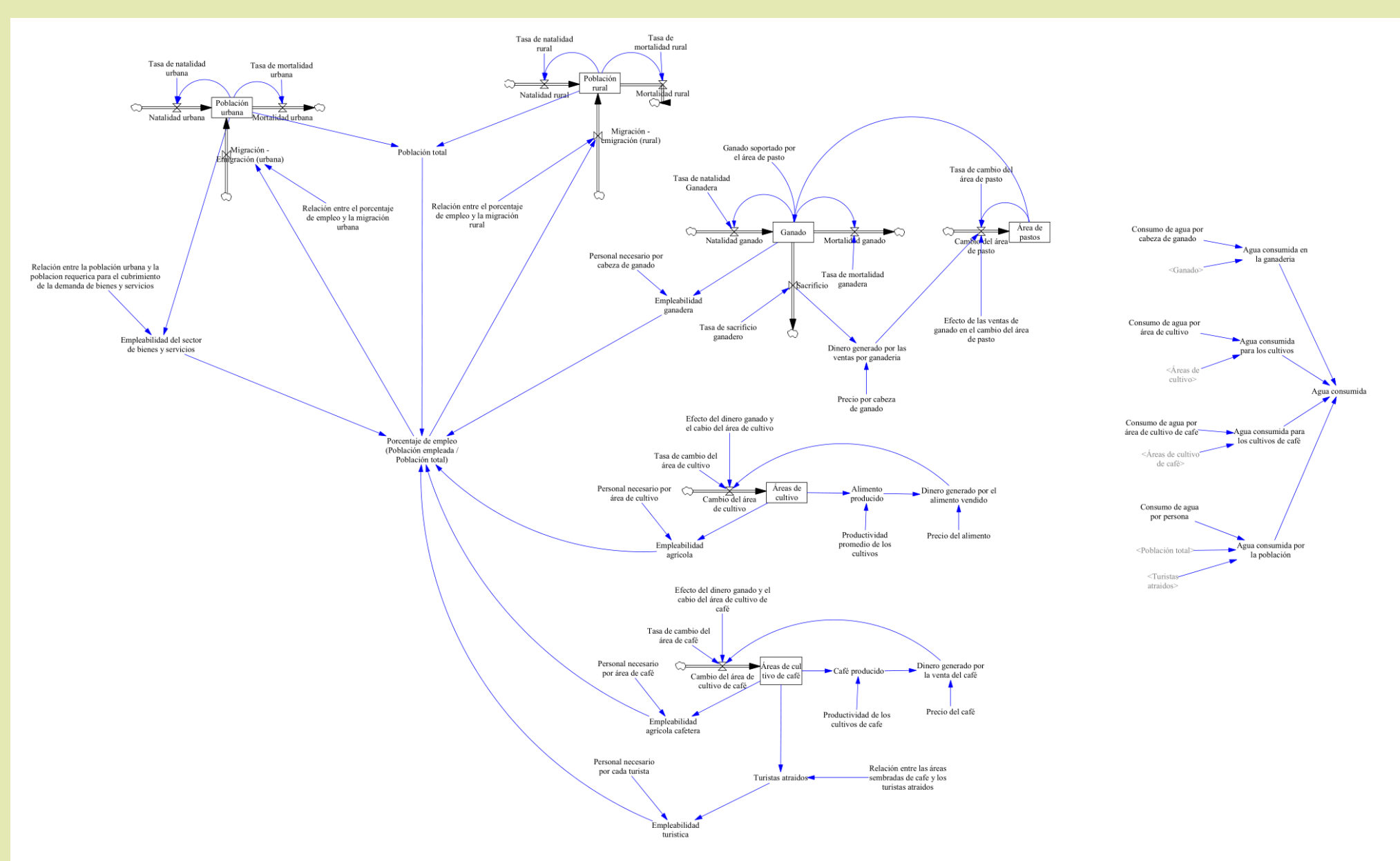
<p><b>Población:</b></p> $\frac{dP}{dt} = p * (Nat - Mort) + \frac{dPf}{dt}$	<p><b>Personas por actividad:</b></p> $PerG = SalAnualG$
<p><b>Ecosistema:</b></p> $\frac{dHaPas}{dt} = HaPas * TcPasto - \beta_1 * \frac{dC}{dt}$	<p><b>Atractividad salarial:</b></p> $ASalA = \frac{PerA}{PerA + PerM + PerP}$
<p><b>Producción:</b></p> $\frac{dG}{dt} = G * (TcNatGan - sac)$	<p><b>Atractividad autoconsumo:</b></p> $AAutA = \frac{AutoA}{AutA + AutG} + 0.66$ $AAutM = 0.33$
<p><b>Ingresos:</b></p> $IngG = PrecG * G * sac * (1 - AutG)$	<p><b>Porcentaje de personas dedicadas</b></p> $\alpha_1 = \frac{1}{3} * (\alpha_1 + ASalP + AAutP)$

# Cuenca del río La Vieja

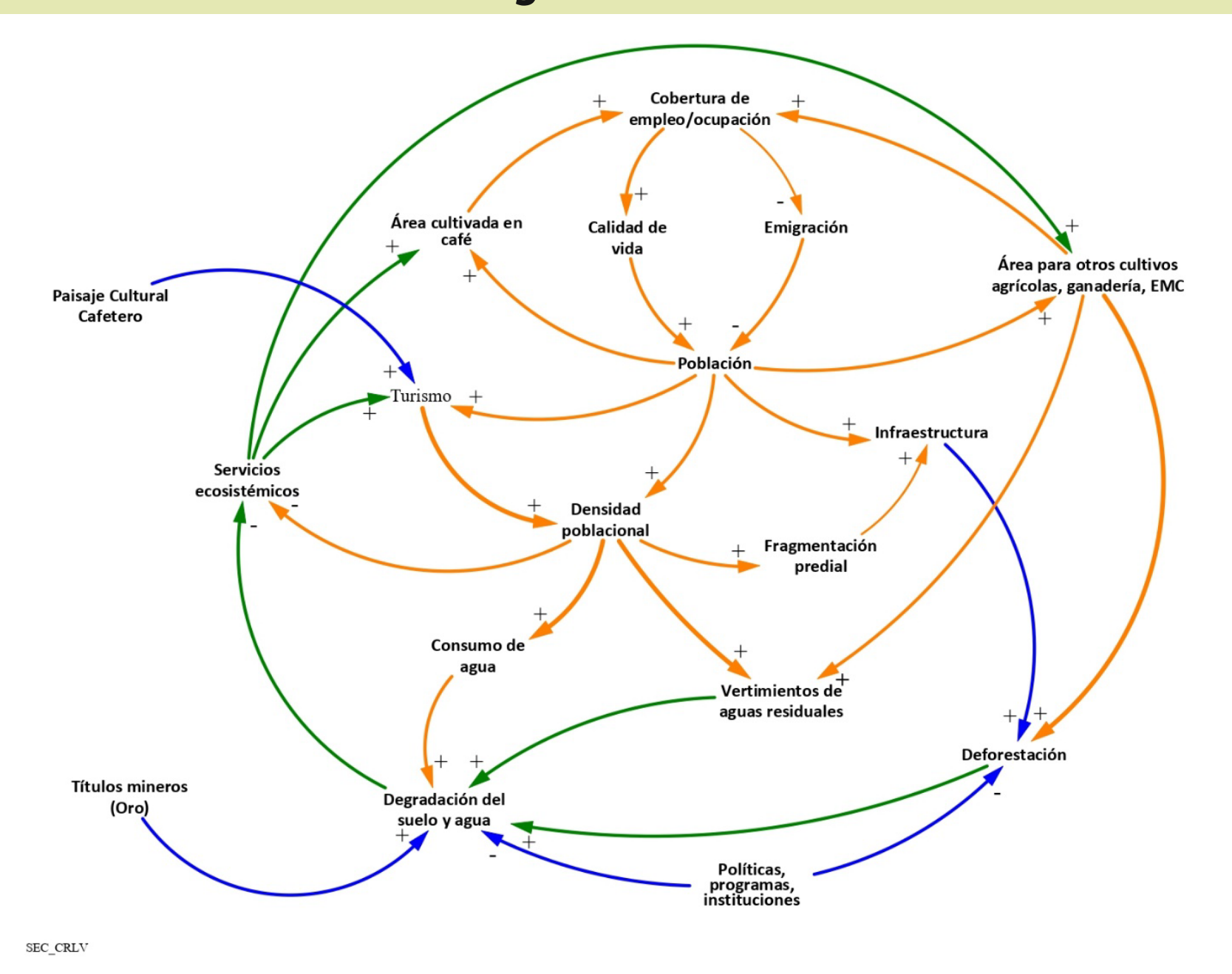
## Conceptualización Enfoque Socioecológico



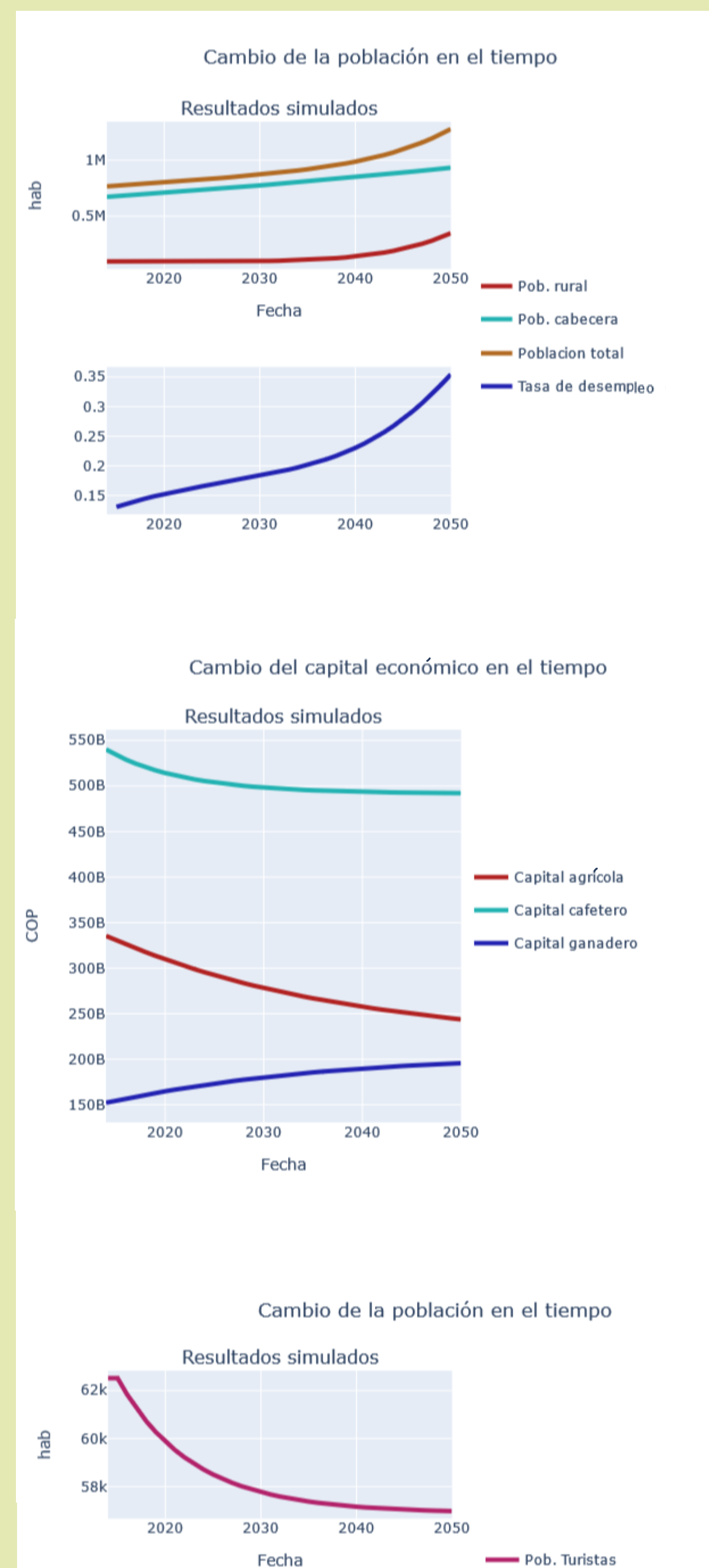
## Diagrama de niveles y flujos - Ecuaciones del modelo



## Diagrama Causal



## Resultado del modelo



<p><b>Stocks</b></p> $\frac{dACafe}{dt} = TasaCafe * ACafe * \left(1 - \frac{ACafe}{ACafeTend}\right)$ $\frac{dACult}{dt} = TasaCult * ACult * \left(1 - \frac{ACult}{ACultTend}\right)$
<p><b>Flujos</b></p> $Pcul = Pc Cult * ACult$ $Pcaf = Pc Caf * ACaf$
<p><math display="block">GmaxSoportado = APas * Soporte</math></p>
<p><b>Otras ecuaciones</b></p> $PTotal = Prural + Purb$ $GSac = 0.52 (ICA, 2021) * G$